




УДК 697.34

*Научная статья*

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-29-35



# Формирование принципов количественного регулирования параметров системы теплоснабжения на основе анализа ее жизненного цикла

**А.Л. Тихомиров**  ✉, **А.П. Пирожникова** 

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

✉ a.l.tikhomirov@yandex.ru

**Аннотация**

***Введение.*** Целью развития отрасли теплоснабжения является обеспечение повсеместного качественного, экономичного и надежного обеспечения теплом потребителя. Для перехода на более высокий уровень организации систем централизованного теплоснабжения с низкими потерями в сети и низким теплопотреблением абонентов необходимо использовать низкотемпературный теплоноситель. Оптимизация системы теплоснабжения на всех этапах ее жизненного цикла является приоритетной задачей для сектора теплоснабжения страны.

***Материалы и методы***. Разработка системы теплоснабжения должна производиться в соответствии с действующим сводом правил «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла». Жизненный цикл можно разделить на четыре этапа. Отмечается, что каждому типу цифровой информационной модели на каждом этапе жизненного цикла соответствует определенный уровень проработки, который представляет собой минимальное количество геометрических, пространственных, количественных и атрибутивных данных, необходимых для решения задачи информационного моделирования на конкретном этапе жизненного цикла объекта.

***Результаты исследования***. Основным направлением совершенствования развития теплоснабжающей отрасли должна стать разработка и внедрение новых технологий и цифровых информационных моделей, что позволит повысить уровень качества генерации, транспортировки и распределения тепловой энергии.

***Обсуждение и заключения.*** Ветряные турбины с вертикальной осью идеально приспособлены к сложной и меняющейся ветровой обстановке на верхних этажах высотных зданий и могут эксплуатироваться безопасно и эффективно, внося положительный вклад в снижение энергетической нагрузки и улучшение состояния окружающей среды.

**Ключевые слова:** теплоснабжение, тепловая нагрузка, теплоноситель, теплопотери, методы регулирования тепловой нагрузки, количественное регулирование, цифровая информационная модель.

**Для цитирования.** Тихомиров А.Л. Пирожникова А.П. Формирование принципов количественного регулирования параметров системы теплоснабжения на основе анализа ее жизненного цикла. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(2):29–35. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-29-35

*Original article*

# Creating Quantitative Regulation Principles of the Heating Networks’ Param-eters Based on the Life Cycle Analysis

**Aleksej L Tikhomirov**  ✉, **Anastasia P Pirozhnikova**

Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ a.l.tikhomirov@yandex.ru

**Abstract**

***Introduction.*** The heating sector development is aimed at ensuring the high-quality, cost-efficient and reliable heat supply to the consumers everywhere. For transition of the district heating networks arrangement to the advanced level, charachterised by low heat losses and customers’ low heat consumption, it is necessary to use a low-temperature heat carrying agent. Optimisation of the heating networks at all stages of the life cycle is the priority task for the national heating sector.

https://www.stsg-donstu.ru



© *А.Л. Тихомиров, А.П. Пирожникова, 2023*

***Materials and Methods.*** The elaboration of the heating networks should be carried out in compliance with the currently enacted Code of Practices "Information modeling in construction. Rules for the objects' information model creation at different stages of the life cycle». The life cycle can be divided into four stages. It is noted that each type of digital information model at each stage of the life cycle correlates with the certain level of elaboration, which envisages the minimum of geometric, spatial, quantitative and attributive data necessary to solve the task of information modeling at a specific stage of the object's life cycle.

***Results.*** 4th generation heating supply technologies allow reducing the temperature of the heat-carrying agent, hereby creating conditions for commencing the heating net-works' transit to the low temperature type of systems. As a result, reducing the heat carrying agent's temperature, allows using more flexible polymer materials for the pipelines. In addition, application of the comprehensive approach to the heating networks innovative development is the important prerequisite for further development of the district heating infrastructure and technologies.

***Discussion and Conclusions.*** The main focus for improving the heating sector development should lie in the elaboration and implementation of the new technologies and digital information models, which will improve the quality of thermal energy generation, transporta-tion and distribution.

**Keywords:** heat supply, heat load, heat carrying agent, heat loss, heat load regulation methods, quantitative regulation, digital information model.

**For citation.** Tikhomirov AL, Pirozhnikova AP. Creating Quantitative Regulation Principles of the Heating Networks' Parameters Based on the Life Cycle Analysis. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(2):29–35. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-29-35

**Введение.** В настоящее время в научных публикациях все чаще обсуждается переход систем теплоснабжения на уровень 4 поколения (4th Generation District Heating – 4GDH). Такие системы должны обеспечивать централизованное теплоснабжение с низкими потерями в сети и низким теплопотреблением абонентов [1–3]. Одним из существенных признаков данного уровня является переход на использование в системах низкотемпературного теплоносителя.

Переход с предшествующего уровня на более высокий носит эволюционный характер, и на определенном этапе система может обладать признаками, характерными для переходного периода.

Обеспечение абонентов систем централизованного теплоснабжения тепловой энергией необходимого качества и в необходимом объеме является сложной задачей, что определяется различием законов изменения во времени тепловых нагрузок потребителей, разнородностью нагрузок, значительной инерционностью систем.

Оптимизация работы систем теплоснабжения во всех ее звеньях и на всех этапах жизненного цикла является первоочередной задачей теплоэнергетики страны [4].

**Материалы и методы.** Проектирование системы теплоснабжения должно осуществляться в соответствии с СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла».

Первым этапом жизненного цикла являются инженерные изыскания, в том числе — геодезические. Изыскания проводятся электронными геодезическими приборами, в результате чего получают трехмерную инженерную цифровую модель местности.

Вторым этапом является проектирование. Трехмерное проектирование тепловых сетей предусматривает учет смежных коммуникаций и сооружений. Проектирование осуществляется в CAD-программах, при этом топографической подложкой является инженерная цифровая модель местности. Авторы рекомендуют для проектирования линейных инфраструктурных объектов программу Geoni CS российского разработчика CS Development, работающую на платформе nanoCAD22.

Третьим этапом является строительство объектов системы с использованием цифровой рабочей документации. В ходе строительства, по согласованию с проектной организацией, могут быть внесены изменения в проектную документацию. Именно исполнительная документация является основой для создания цифровой эксплуатационной модели.

Следует отметить, что каждому типу цифровой информационной модели на каждом этапе жизненного цикла соответствует определенный уровень проработки — минимальный объем геометрических, пространственных, количественных, а также любых атрибутивных данных, необходимых для решения задач информационного моделирования на конкретной стадии жизненного цикла объекта [5].

Четвертый этап — создание эксплуатационной модели (6D-модель) в соответствии с классификацией СП 331.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах». [6, 7] Передача данных

https://www.stsg-donstu.ru

между моделями на различных этапах должна производиться в IFC-формате — формате отраслевых базовых классов данных с открытой спецификацией для совместного использования их в строительстве и управлении объектами с выполнением требований интероперабельности. В качестве эксплуатационного программного продукта предлагается использовать программный комплекс Zulu2021 с модулем ZuluThermo разработки отечественной компании «Политерм». Комплексом Zulu2021 на базе графической 3D-модели тепловой сети созданы топологические связи объектов системы теплоснабжения (с использованием теории графов). Последующее создание семантических баз данных по всем элементам системы приведет к созданию полноценной эксплуатационной 6D-модели. Важным моментом создания эксплуатационной модели является ее верификация на соответствие физическому аналогу. Верификация проводится с использованием данных измерений основных параметров в характерных точках физической системы теплоснабжения [8–15]. По мнению авторов, четвертый этап в жизненном цикле системы теплоснабжения является наиболее значимым.

Основные принципы организации эксплуатации систем централизованного теплоснабжения, в том числе методы регулирования тепловой нагрузки, в нашей стране разрабатывались в 50-е годы прошлого века. В качестве основного при проектировании систем теплоснабжения закладывался качественный метод центрального регулирования тепловой нагрузки, при котором расход сетевой воды остается постоянным, а тепловая нагрузка потребителей регулируется изменением температуры в подающей магистрали тепловой сети. При этом в крупных теплофикационных системах в большинстве случаев температура теплоносителя принималась 150 °С.

Другие методы регулирования, такие как количественный (изменение расхода теплоносителя) и качественно-количественный (одновременное изменение температуры и расхода теплоносителя в подающей магистрали), развития не получили. В настоящее время вследствие бурного развития техники и технологий частотного регулирования производительности сетевых насосов источников тепла созданы условия для эффективного использования преимуществ количественного и качественно-количественного методов регулирования тепловой нагрузки в системах централизованного теплоснабжения.

Подробный сравнительный анализ преимуществ и недостатков различных методов регулирования тепловой нагрузки приведен в [16].

Следует выделить и рассмотреть очевидные преимущества количественного регулирования тепловой нагрузки.

1. *Экономия электрической энергии при транспорте теплоносителя.*

При любом способе регулирования для целей отопления на источнике тепла должно быть выработано и отпущено потребителям количество тепла, с учетом транспортных потерь, полностью компенсирующее теплопотери потребителей. При соблюдении норм по теплоустойчивости зданий эти теплопотери являются функцией климатических факторов для данной местности. При качественном регулировании расход теплоносителя определяется по максимальным тепловым нагрузкам отопления, горячего водоснабжения и вентиляции. В дальнейшем, на стадии проектирования, по нему определяются диаметры трубопроводов, подбираются сетевые насосы, а на стадии эксплуатации осуществляется максимальная перекачка теплоносителя в течение всего отопительного сезона вне зависимости от температуры наружного воздуха. Снизить объем транспортируемого теплоносителя можно при применении количественного метода регулирования.

На рис. 1 приведен график расходования мощности электродвигателем при качественном и количественном способах регулирования в течение отопительного сезона (продолжительность стояния наружных температур в отопительном периоде приведена в часах на горизонтальной оси).

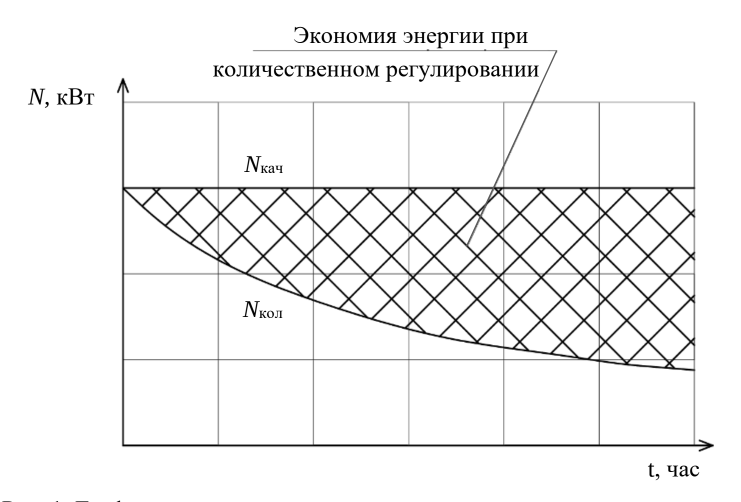



Рис. 1. График расходования мощности электродвигателем сетевого насоса

https://www.stsg-donstu.ru

Горизонтальная линия $N_{кач}$ — затрачиваемая мощность при качественном регулировании. Расход теплоносителя постоянен и не зависит от наружной температуры. Линия $N_{кол}$ — зависимость затрачиваемой мощности насоса от наружной температуры (расход теплоносителя является функцией температуры наружного воздуха). Площади под линиями — затраченная электроэнергия (кВт·час) в рассматриваемом периоде. Разность между рассматриваемыми площадями (заштрихованный участок) — экономия электроэнергии при применении количественного метода регулирования. Из сравнения графиков видно, что при количественном регулировании тепловой нагрузки потребляемая мощность зависит от температуры наружного воздуха и будет всегда ниже, чем при качественном регулировании. Следует отметить, что для южных регионов России средняя температура отопительного сезона значительно выше расчетной, принимаемой при проектировании систем теплоснабжения, что позволяет достигать экономии электроэнергии при транспорте теплоносителя до 60 %.

2. *Меньшая инерционность регулирования тепловой нагрузки*.

Качественное регулирование тепловой нагрузки осуществляется в соответствии с температурным графиком, рассчитываемым для климатических условий конкретной местности. В данном случае требуется прогноз региональной метеослужбы по температуре наружного воздуха. Данные прогноза по температуре передаются на управляющий орган производительностью теплогенератора. При создании управляющего сигнала должны быть предусмотрены инерционность тепловых процессов в генераторе тепла, а также время прохождения температурной волны от источника тепла до конечного абонента системы (определяется скоростью движения теплоносителя).

При регулировании тепловой нагрузки количественным методом входным сигналом также является метеопрогноз. Однако сгенерированный выходной сигнал подается на орган управления частотно-регулируемого электропривода сетевых насосов. Существенным преимуществом данного метода регулирования является практически полное отсутствие инерционности, так как создаваемое воздействие распространяется со скоростью распространения звука в воде.

3. *Постоянная температура теплоносителя в подающей магистрали.*

Исключает механическое воздействие на компенсаторы, неподвижные опоры, стенки трубопроводов при линейном температурном удлинении при изменении температуры теплоносителя и, как следствие, их механическое разрушение. Это позволит значительно снизить аварийность на тепловых сетях и повысить надежность и качество теплоснабжения.

4. *Возможность снижения температуры теплоносителя в подающей магистрали.*

Данный фактор создает ряд дополнительных преимуществ:

– снижение тепловых потерь при транспорте теплоносителя;

– отсутствие необходимости в смесительных устройствах на абонентских вводах при зависимой схеме подключения систем отопления.

Снижение температуры в подающей магистрали до уровня 110 °C и ниже допускает применять полимерные трубопроводы, что позволяет в полной мере использовать преимущества полимерных материалов:

– отсутствие наружной и внутренней коррозии;

– низкая абсолютная эквивалентная шероховатость;

– практическое отсутствие зарастания;

– низкое гидравлическое сопротивление;

– возможность для некоторых отечественных конструкций трубопроводов отказаться от применения компенсаторов.

Уровень снижения температуры в подающем трубопроводе определяется термостойкостью применяемого полимерного материала, а также технико-экономическим обоснованием.

Следует отметить, что для получения максимального эффекта от выбора способа количественного регулирования тепловой нагрузки все элементы системы теплоснабжения (источник, тепловые сети и абоненты) должны быть спроектированы с учетом принятого метода регулирования. Выбор метода количественного регулирования должен быть учтен при проведении гидравлического расчета тепловых сетей, подборе сетевых насосов и обязательной комплектацией насосной группы устройствами частотного регулирования производительности насосов. Выбор материала труб и конструкции теплопроводов в целом производится в зависимости от принятой в системе температуры теплоносителя.

**Результаты исследования**. Развитие техники и технологий частотного регулирования производительности сетевых насосов источников тепла создало условия для эффективного использования преимуществ количественного и качественно-количественного методов регулирования тепловой нагрузки в системах централизованного теплоснабжения, таких как экономия электрической энергии при транспорте теплоносителя, меньшая инерционность регулирования тепловой нагрузки, возможность снижения температуры теплоносителя в подающей магистрали. Снижение температуры теплоносителя создает условия к началу перехода системы теплоснабжения в

разряд низкотемпературных систем, т.е. к системам 5-го поколения. Одновременно снижение температуры теплоносителя позволит использовать трубопроводы из полимерных материалов и, как следствие, присущие им преимущества перед стальными трубопроводами. В работе показано, какие технические изменения вносятся в систему теплоснабжения при выборе количественного регулирования тепловой нагрузки вместо качественной в различных периодах ее жизненного цикла.

**Обсуждение и заключения.** Рассмотрена техническая возможность применения в системах теплоснабжения количественного регулирования тепловой нагрузки с использованием всех технологических преимуществ данного метода. Предложено на всех этапах жизненного цикла системы теплоснабжения разрабатывать цифровую информационную модель каждого элемента системы теплоснабжения, учитывающую все особенности применения количественного метода регулирования тепловой нагрузки и возможности низкотемпературного теплоснабжения.

**Список литературы**

1. Lund H., Werner S., Wiltshire R., Svendsen S., et al. 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy*. 2014;68:1–11. https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089

2. Lund H., Ostergaard P.A., Nielsen T.B., et al. Perspectives on fourth and fifth generation district heating. *Energy*. 2021;227. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.12052

3. Петрова И.Ю., Музафаров Р.Р. Системы централизованного теплоснабжения для умных городов. *Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал*. 2021;4(38):90–95.

4. Пасичко С.И., Халецкая Е.А., Колиенко А.Г. Системы теплоснабжения. Выбор оптимальных направлений развития. *Новости теплоснабжения*. 2002;8(24). URL: http://www.ntsn.ru/8_2002.html

5. Кислов Д.К., Рябенко М.С., Рафальская Т.А. Разработка системы интеллектуального теплоснабжения на базе информационной сети Zulu. *Энергосбережение и водоподготовка*. 2018;2(112):55–59.

6. Шишкин А.В., Мешалова П.В., Зенин С.А. и др. Создание цифрового двойника тепловой сети в различных программных комплекса. *Надежность и безопасность энергетики*. 2022;15(3):166–174. https://doi.org/10.24223/1999-5555-2022-15-3-166-174

7. Zheng X., Sun Q., Wang Y., et al. Thermo-hydraulic coupled simulation and analysis of a real large-scale complex district heating network in Tianjin. *Energy*. 2021;236. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121389

8. Zheng J., Zhou Z., Zhao J., Wang J. Function method for dynamic temperature simulation of district heating network. *Applied Thermal Engineering*. 2017;123:682–688. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.05.083

9. Falay B., Schweiger G., O'Donovan K., Leusbrock I. Enabling large-scale dynamic simulations and reducing model complexity of district heating and cooling systems by aggregation. *Energy*. 2020;209. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118410

10. Barone G., Buonomano A., Forzano C., Palombo A. A novel dynamic simulation model for the thermo-economic analysis and optimisation of district heating systems. *Energy Conversion and Management*. 2020;220. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113052

11. Larsen H.V., Palsson H., Bohm B., Ravn H.F. Aggregated dynamic simulation model of district heating networks. *Energy Conversion and Management*. 2002;43(8):995–1019. https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00093-0

12. Hussein A., Klein A. Modelling and validation of district heating networks using an urban simulation platform. *Applied Thermal Engineering*. 2021;187. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116529

13. Badami M., Fonti A., Carpignano A., Grosso D. Design of district heating networks through an integrated thermo-fluid dynamics and reliability modelling approach. *Energy*. 2018;144:826–838. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.071

14. Schweiger G., Larsson P.O., Magnusson F., et al. District heating and cooling systems — Framework for Modelica-based simulation and dynamic optimization. *Energy*. 2017;137:566–578. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.115

15. Тихомиров А.Л., Ананьев Н.А. Верификация электронной модели тепловой сети по параметру «Эквивалентная абсолютная шероховатость». *Инженерный вестник Дона*. 2020;3. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2020/6358

16. Шарапов В.И., Ротов П.В. *Регулирование нагрузки систем теплоснабжения*. Москва: Новости теплоснабжения; 2007. 164 с.

**References**

1. Lund H, Werner S, Wiltshire R, Svendsen S, et al. 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy*. 2014;68:1–11. https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089

https://www.stsg-donstu.ru

2. Lund H, Ostergaard PA, Nielsen TB, et al. Perspectives on fourth and fifth generation district heating. *Energy*. 2021;227. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.12052

3. Petrova IY, Muzafarov RR. Centralized Heat Supply Systems for Smart Cities. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region: Scientific Journal*. 2021;4(38):90–95. (In Russ.).

4. Pasichko SI, Khaleckaya EA, Kolienko AG. Sistemy teplosnabzheniya. Vybor optimal'nykh napravlenij razvitiya. *Novosti teplosnabzheniya*. 2002;8(24). URL: http://www.ntsn.ru/8_2002.html (In Russ.).

5. Kislov DK, Ryabenko MS, Rafal'skaya TA. System Engineering Of The Intellectual Heat Supply On The Basis Of Information Network Zulu. *Energy saving and water treatment*. 2018;2(112):55–59. (In Russ.).

6. Shishkin AV, Meshalova PV, Zenin SA, et al. Development of a Digital Twin of the Heating Network in Various Software Systems. *Safety and Reliability of Power Industry*. 2022;15(3):166–174. https://doi.org/10.24223/1999-5555-2022-15-3-166-174 (In Russ.).

7. Zheng X, Sun Q, Wang Y, et al. Thermo-hydraulic coupled simulation and analysis of a real large-scale complex district heating network in Tianjin. *Energy*. 2021;236. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121389

8. Zheng J, Zhou Z, Zhao J, Wang J. Function method for dynamic temperature simulation of district heating network. *Applied Thermal Engineering*. 2017;123:682–688. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.05.083

9. Falay B, Schweiger G, O'Donovan K, Leusbrock I. Enabling large-scale dynamic simulations and reducing model complexity of district heating and cooling systems by aggregation. *Energy*. 2020;209. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118410

10. Barone G, Buonomano A, Forzano C, Palombo A. A novel dynamic simulation model for the thermo-economic analysis and optimisation of district heating systems. *Energy Conversion and Management*. 2020;220. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113052

11. Larsen HV, Palsson H, Bohm B, Ravn HF. Aggregated dynamic simulation model of district heating networks. *Energy Conversion and Management*. 2002;43(8):995–1019. https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00093-0

12. Hussein A, Klein A. Modelling and validation of district heating networks using an urban simulation platform. *Applied Thermal Engineering*. 2021;187. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116529

13. Badami M, Fonti A, Carpignano A, Grosso D. Design of district heating networks through an integrated thermo-fluid dynamics and reliability modelling approach. *Energy*. 2018;144:826–838. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.071

14. Schweiger G, Larsson PO, Magnusson F, et al. District heating and cooling systems — Framework for Modelica-based simulation and dynamic optimization. *Energy*. 2017;137:566–578https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.115

15. Tihomirov AL, Anan'ev NA. Verification of the Electronic Model of the Thermal Network by “Equivalent Absolute Roughness”. *Engineering Journal of Don*. 2020;3. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2020/6358 (In Russ.).

16. Sharapov VI, Rotov PV. *Regulirovanie nagruzki sistem teplosnabzheniya*. Moscow: Novosti teplosnabzheniya; 2007. 164 p. (In Russ.).

*Об авторах:*

**Тихомиров Алексей Леонидович,** доцент кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, a.l.tikhomirov@yandex.ru

**Пирожникова Анастасия Петровна,** старший преподаватель кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, anastasiapir@mail.ru

*Заявленный вклад соавторов:*

А.Л. Тихомиров — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, подготовка текста, формирование выводов. А.П. Пирожникова — анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

**Поступила в редакцию** 02.02.2023.
**Поступила после рецензирования** 24.02.2023.
**Принята к публикации** 28.02.2023.

*Конфликт интересов*

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

*Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.*

https://www.stsg-donstu.ru

*About the Authors:*

**Aleksej L Tikhomirov**, associate professor of the Environmental Engineering Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sc. (Engineering), assoc. prof., ORCID, a.l.tikhomirov@yandex.ru

**Anastasia P Pirozhnikova**, senior lecturer of the Environmental Engineering Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, anastasiapir@mail.ru

*Claimed contributorship:*

AL Tikhomirov — designing the main concept, goals and objectives of the study, preparing the text, formulating conclusions. AP Pirozhnikova — analysis of research results, text refinement, adjustment of conclusions.

**Received** 02.02.2023.
**Revised** 24.02.2023.
**Accepted** 28.02.2023.

*Conflict of interest statement*

The authors do not have any conflict of interest.

*All authors have read and approved the final manuscript.*